

(5) Japanese Patent Application Laid-Open No. 60-258928 (1985) and its corresponding United States Patent No. 4,649,261

⑨ 日本国特許庁 (J P)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭60-258928

⑮ Int. Cl.¹

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和60年(1985)12月20日

H 01 L 21/324
21/265

6603-5F
6603-5F

審査請求 未請求 発明の数 3 (全16頁)

⑭ 発明の名称 半導体ウェーハの加熱装置および方法

⑯ 特 願 昭60-40246

⑰ 出 願 昭60(1985)2月28日

優先権主張 ⑱ 1984年2月28日 ⑲ 米国 (U S) ⑳ 584322

⑫ 発 明 者 ロナルド・イー・シー アメリカ合衆国カリフォルニア州92705, サンタ・アナ,
ツ カドリル・プレイス 10745

⑫ 出 願 人 タ馬拉ック・サイエン アメリカ合衆国カリフォルニア州92806, アナハイム, ノ
ティフィック・カンパ ース・アーモンド・ストリート 1040
ニー・インコーポレー
テッド

⑫ 代 理 人 弁理士 湯浅 恭三 外5名

明 細 書

1. [発明の名称]

半導体ウェーハの加熱装置および方法

2. [特許請求の範囲]

(1) 中空の集光罐体と、

前記集光罐体の一方の端部を閉じ、内側表面が
反射面となつている壁手段と、

前記集光罐体内に配置され、まわりに熱放射線
を放射し、当該集光罐体に沿つた両方向に熱放射
線を伝達するランプ手段と、

該ランプ手段から放射され、前記集光罐体によ
つて位置決めされる熱放射線の経路内でワークビ
ースを支持する支持手段とを備えて成り、

該支持手段が、前記壁手段から離れて前記ラン
プ手段の側部に配置され、

前記支持手段は、当該支持手段で支持されたワ
ークピースが、前記ランプ手段から放射され前記
壁手段の内面で反射されしかも前記集光罐体で集束
された熱放射線により比較的均一に加熱されるよ
う、前記ランプ手段から充分に離れているよう

な半導体ウェーハの加熱装置。

(2) 特許請求の範囲第1項に記載の加熱装置に
おいて、前記集光罐体がカレイドスコープである
加熱装置。

(3) 直径の大きなドウバントインプラント半導
体ウェーハを急速に焼きなますため加熱する方法
において、

CW ランプ手段と集光罐体を使用して、前記ウ
ェーハを比較的均一に等温加熱する段階と、

パルス発光ランプ手段と集光罐体を使用して、
前記等温加熱段階で前記半導体材料を昇温した後、
前記ウェーハのドウバントインプラント表面区域
を比較的均一に熱線束加熱する段階とを有する半
導体ウェーハの加熱方法。

(4) 直径の大きな半導体ウェーハを焼きなます
方法において、

閉じた内面反射端部を持ち、当該端部に比較的
近接して放射熱エネルギー源を収容しているカレ
イドスコープを設ける段階と、

前記カレイドスコープを使用して、前記エネル

エネルギーからの熱放射線をほぼ均一にする段階と、

前記エネルギーが比較的均一になつていゝる場所に、直径の大きな半導体ウェーハを配置する段階と、

均一なエネルギーを使用して前記ウェーハをほぼ均一に加熱し、所望の焼きなましを行なう段階とを有する半導体ウェーハの加熱方法。

3.〔発明の詳細な説明〕

(産業上の利用分野)

本発明は半導体ウェーハの加熱装置および方法に関する。

本発明の装置と方法は、半導体ウェーハの様々な形態の製造に係して重要な役割を担つてゐる。例えば、本発明の装置と方法は、ガラス不活性層(glass passivation layer)を再び流動させて、シリサイド(silicided)を形成することができる。しかし、この用途に利用する本発明の方法は、主にイオンインプラント半導体ウェーハを焼きなまして、イオンインプラント処理によつて生じたストレスを取り除き、インプラントドープメント(implant dopants)を完全に活性化

(3)

その後一定時間にわたつて温度を維持される。その後、ゆつくりとした冷却時間が設けられている。そうした炉内で焼きなまされる半導体ウェーハに必要な時間は、一般的には30から60分である。

従来から、直径の大きな半導体ウェーハを急速に焼きなます(短時間の焼きなまし)ことについての強い要望があつた。急速焼きなましについての様々な文献や多くの特許明細書が発表され、また種々の試みもなされてきた。急速焼きなまし作業においては、一般に、短時間のうちにウェーハを高温に加熱し、約1ないし2秒間にわたつてウェーハを高温に維持している。できるだけ工程を短縮することにより、インプラントイオンがバルク半導体材料を拡散してしまうことがなく、また回路速度も最大になる。第7図を参照する。図には、ある種の従来技術の急速焼きなまし工程によつて生じた拡散量が点線の曲線によつて図示されている。この曲線は、“インプラント処理された場合”の曲線に非常に近似していることがわかる。

直径の大きな半導体ウェーハの急速焼きなまし

(5)

し、固相エピタキシャルを再成長させて損傷した結晶格子構造を補修することができる。

(従来の技術)

半導体材料(例えば、シリコン、ガリウムと砒素)は、高電圧を利用し半導体表面に向けてインプラントイオンを加速する機械を使つて、従来からドウバントインプラント処理が行われてきた。ドウバントの貫入量は、ドウバントイオンの加速電圧の大きさにより決定され、例えば0.2ミクロンである。イオンインプラント処理の後に必要な焼きなましは、今まで加熱溶融炉により行われてきた。こうした炉は、例えば4インチ(10.16センチ)から7インチ(17.78センチ)の直径と、例えば4フィート(1.22メートル)から6フィート(1.83メートル)の長さとを備えた長い石英チューブである。加熱コイルがチューブの廻りに巻き付けられており、また炉線は炉を通り抜けている。各炉盤は、例えば30から40のウェーハを収容している。炉内温度は、所望のレベル、例えば1000℃までゆつくりと上昇され、

(4)

を確実にしかも経済性を満たして行なうことは非常に難しい。この難しさは、ウェーハ自体の特性に主な原因がある。こうした特性の幾つかについて説明する。

ウェーハの直径は、4インチ(10.16cm)、5インチ(12.7cm)または6インチ(15.24cm)あり、一般的には0.5ミリメートル程度の厚みがある。直径に比べて厚みが非常に薄いため、ウェーハの一部の領域に伝わつた熱が速やかに他の領域に熱伝導されない。そして、以下に述べるようにこうしたウェーハの一部の領域から他の領域へ熱伝導されないで、ウェーハからほとんど輻射して逃げてしまふ。

ウェーハのサイズにより、またシリコンの平均的な比熱がグラム当たり1.0ジュールであるため、シリコンウェーハを数秒間にわたつて1000-1200℃に加熱するにはかなりのエネルギーが必要である。0.5ミリメートル厚の標準的なウェーハの場合、1200℃の温度に昇温するには1平方センチメートル当たり145ジュールを必要と

(6)

する。1200℃の温度では、ウェーハの全面から（輻射率を0.7とする場合）18ワット/cmを輻射（損失）する。従つて、例えば4インチ（10.16cm）の直径のウェーハは、1200℃の時には全体的に2.8キロワットの熱を輻射してしまう。ウェーハを1200℃に維持するには、ウェーハの一方の側が36ワット/cmを連続的に吸収する必要があり、また両側を加熱する場合には18ワット/cmの熱を連続的に吸収する必要がある。

次に、半導体材料の光学特性について説明する。ほとんどの半導体材料は、0.3から4.0ミクロンの波長域で非常に高い反射率（3.0ないし4.0）を備えている。この事は、半導体材料が入射した放射線の30から40パーセントを反射することを意味している。この反射率は、例えばガラスの場合よりも数倍大きい。反射量も多いが、比較的冷えている場合でも、ウェーハから多量の熱が輻射放熱される。1.1から8ミクロンの範囲の入射放射線のうち、40から50パーセントのものが

(7)

(Semiconductor International, 1983年12月号, 69-74頁)による"1983年版、急速ウェーハ加熱技術の現状"がある。それより少し前の文献に、T.O. Sedgwick (Journal of the Electrochemical Society: Solid-State Science and Technology, 1983年2月号, 484-493頁)による"短時間焼きなまし"がある。これら両方の文献を本明細書では引用例として用いている。

Burggraaf氏の文献では、均一加熱がいかに重要かを強調している。(70頁で)主張していることは次の通りである。「ウェーハ温度を均一にすることは、販売業者が製造システムを設計する際に検討する必要がある最も重要な課題である。急速ウェーハ加熱におけるウェーハ温度の均一性は、高温時に生じるスリップ（結晶転位）とウェーハの歪みを最小限度に抑える上で重要である。また、ウェーハ温度の均一性は、ドープメント活性化処理（dopant-activation）とジャンクション深さ（Junction-depth）の均一性に影響し

500-600℃より低い温度の下でウェーハを通じて伝達される。従つて、高温ウェーハは多量の熱を輻射し、反射しそして伝達している。

また、ウェーハには厳しい熱と物理的な応力に晒されると、必要な平坦さを保てないで簡単に曲がつてしまう特性がある。さらに、ウェーハの各所が熱衝撃によつて波状変形してしまうことがある。

他の重要な特徴に、比較的長時間の"急速焼きなまし"によれば、不均一加熱、すなわちウェーハの各所に伝達される放射エネルギーの量が一定しないことに原因した、都合の悪い影響を少なくできることがある。しかし、そうした比較的長時間の"急速焼きなまし"は好ましくない。1回の製造時間が長くなり、ドープメントの下向きの拡散量が増え、従つて、回路速度が低下してしまう。

急速焼きなましの問題点に対し、従来技術はそうした問題点を解消する試みを行なつてきた。このことについては、2つの文献に詳しく説明されている。最近のものに、Pieter B. Burggraaf

(8)

ている。均一加熱は、実用面から見て、急速ウェーハ加熱用の製造工具を製作する上で重要な課題である。……ウェーハ温度を均一にするには、放射線の領域を非常に均一にする必要がある。」

引用した文献の解説の中にはジャンクション深さの均一性に関連して、次の事が強調されている。ウェーハを数百のエレメントに切り離すため、これらエレメントのすべてを均質にすることが重要である。温度の不均一さに原因したジャンクション深さの違いは、実施可能な生産ラインに急速焼きなまし工程を加える上で不利な要因の1つである。

前に引用したSedgwick氏の文献ではインプラントイオンを活性化し各種の点欠陥（point defects）を取り除くには、できるだけ高温で操作する必要があることを示している。出願人の見解は、多くの高温作業は温度に関しては適切であるが、わずかの局部しか加熱できないスキヤニングレーザビームを使用しており、歪み、スリップ、波状変形および他の欠陥を起こしている。

(9)

実施可能な急速加熱に關連した他の主要な要件に、(例えば)Burggraf氏の文献(70頁)で言及されているウエーハの汚染がある。この汚染を防ぐために、ウエーハに接触して汚染することなく、当該ウエーハを800-1100℃(またはそれ以上)に急速に加熱することが重要である。従つて、例えば高温に予熱したプレートを使用することは明らかに好ましくない。プレートの材料がウエーハを前記温度範囲に昇温させてしまうためである。

急速加熱可能な装置を普及型の生産ラインに使用できるか否かについては、装置の価格、操作およびメンテナンスに要する経費とその難易度が非常に重要な要件である。効率のよいこと、単純であること、比較的コンパクトであること、丈夫であること、メンテナンスが簡単なこと等が生産ラインの運転のためには特に重要である。

ウエーハ加熱に關連して使用する用語についての定義

基本的には、ウエーハを加熱する3つの方法が

01

れたものではない。断熱加熱曲線の上端の平らな区域はシリコンの溶融点1410℃の位置にある。ウエーハの上層の2ミクロンまでを溶かすのには溶融潜熱が必要なためである。

(発明の要約)

本発明は、スペクトルの可視および赤外域の熱放射源により、半導体ウエーハの急速加熱を行うことのできる実用的で、経済的でしかも効率のよい装置と方法を提供することにある。特に重要な点は、処理するウエーハに向けた放射源(タングステンハロゲンランプ、キセノンアーク、クリプトンアーク、水銀アーク、無電極無線周波発振源等)を光学的に組み合わせることにある。この光学的な組み合わせは、ウエーハ表面の配置される標的面の放射線密度がほぼ均一になり、その結果ウエーハを横切つてはつきりとした温度勾配が生じないようにしている。

本発明の一形態によれば、集光鏡体を当該鏡体内に配置した放射源に組み合わせて使用し、放射源と半導体ウエーハとを対の関係に配置するように

ある。

(a) 断熱加熱(Adiabatic)…エネルギーは、 $10-100 \times 10^{-6}$ 秒の非常に短い時間にわたつてパルス発光エネルギー源(レーザ、イオンビーム、電子ビーム)から供給される。この高密度で短時間のエネルギーは、半導体の表面を1ないし2ミクロンの深さまで溶融する。

(b) 熱線束加熱(Thermal flux)…エネルギーは、 5×10^{-6} ないし 2×10^{-2} 秒にわたつて供給される。熱線束加熱により、ウエーハの表面から下側に2ミクロン以上にわたつて実質的な温度勾配を作り出すが、ウエーハの厚み全体にわたつて均一加熱することはない。

(c) 等温加熱(Isothermal)…エネルギーが1-100秒にわたつて加えられて、ウエーハの所望の区域で当該ウエーハの厚み全体にわたつてほぼ均一に温度を上昇させる。

等温加熱、熱線束加熱および断熱加熱の想定図について、本件出願の第6図に説明がなされている。これら曲線は正確なスケールを持つて図示さ

02

なっている。非常に好ましい形態では、集光鏡体が放射源を收容した反射集光カレイドスコープから成っている。これらの組み合わせにより、高速で、効率よく、経済的でしかも商業的な手法で、放射線束を標的面の位置でほぼ均一にすることができる。

本発明の他の形態によれば、集光鏡体の延長部が、放射源から遠ざけてウエーハの側部に設けられ、ウエーハを通り抜けるかまたはウエーハの廻りを通り抜け、そしてウエーハから輻射した放射エネルギーのかなり量が均一に反射してウエーハに戻る機能を果たしている。

別の重要な実施例では、同一または異つた放射源がカレイドスコープの延長部に設けられている。何れの場合でも、半導体ウエーハの両側に実質的に均一な(直接向けられ且つ反射される)熱源が設けられている。

スキヤニングレーザを必要とはしないが、1つの放射源としてのレーザの使用を除外するものではない。ここでいう熱源は、ウエーハ表面全面に

レーザビームを均一に配分する集光装置に組み合わされる大型レーザである。

さらに、焼きなましまたはその他の目的のために、制御された環境のもとでウェーハをほぼ自動的に加熱するシステムについて説明する。

本発明は、均一な等温加熱と熱線加熱との組み合わせにも関係している。例えば、等温加熱は、光学系空所内に配置した連続波(CW)放射源によつて行われる。ランプの出力を制御して、温度上昇速度を毎秒当たり約200ないし約500℃(あるいはそれ以上)にしている。シリコンのウェーハが約800-1100℃の範囲の所定温度に達すると、第2の放射源、すなわち、高出力パルス発光ランプが点燈され、シリコンウェーハの表面温度を1200-1400℃(またはそれ以上)に速やかに昇温する。従つて、ウェーハの表面は焼きなましされ欠陥が取り除かれる。

前段で述べた方法により、ウェーハに接触せずまたウェーハを汚染する危険性なしに、ウェーハを急速に加熱し焼きなましすることができる。

09

当該光纖体の内面に全体的または部分的に乱反射する表面を用いている。

前述した従来技術で用いられている第2の形式の集光纖体は、“カレイドスコープ”と呼ばれている。この第2の形式の集光纖体は、均一な温度が得られた効率のよいことから特に好ましい。この集光纖体は、所定の断面形状にされた反射率の高い(少なくとも主要な)非乱反射内壁を備えている。これら集光纖体の形状には、正方形、正六角形、正三角形および矩形が含まれている。

本明細書と特許請求の範囲で使用した用語“カレイドスコープ”は、比較的均一な放射線束を標的面に集めるようになつた反射集光纖体を意味している。この作用は、集光纖体の平らな非乱反射内壁により、入射放射エネルギーの多重反射が生じ標的面をエネルギーで覆うことによる。多くの例では、カレイドスコープには漸進的にテーパをつけることができる(例えば正方形断面を備えた截頭ピラミッド形がある。)

本発明によれば、出願人は、新規な方法で集光

急速な加熱と均一な光学的な組み合わせは、同一の集光光学系空所に複数のハロゲンランプと高出力(パルス発光)ランプとを設置し、半導体材料を等温加熱と熱線加熱とで組み合わせ加熱することによつて得られる。熱線加熱が加えられて表面温度を1200-1400℃に昇温させる以前に、先づ、ウェーハ温度を800-1400℃に昇温する組み合わせ加熱法により、非常に急速な焼きなましに原因した内部応力の発生を充分に抑えられる。前述の方法によつて行われる非常に急速な焼きなましのため、ドウバントの拡散をできるだけ少なくした状態で固相はエピタキシャル再成長する。

本発明の他の重要な形態は、ランプの構成、冷却並びに温度制御についてである。

この10年来周知の従来技術では、集光纖体の入口に光または他の放射熱源を不均一に向けてワーク・ピースの加熱を行つていた。集光纖体の作用により、光は出口端に到達するまでに比較的均一にされる。そうした光纖体のある形式のものは、

08

纖体、特に好ましくはカレイドスコープを使用している。この新規な方法は、直径の大きな半導体ウェーハの処理において重要な役割を果たしている。本発明の1つの形態によれば、放射線束を外部から集光纖体内に送り込んではいないが、集光纖体自体の内部、特に好ましくは集光纖体の一方の端部に近接して乱放射源を設置している。そうした集光纖体の端部は閉じてあり、また高い反射率を持つように内面コーティングされている。内部に乱放射源を設置することにより放射線はすべての方向に流れ、放射源から距離をおいて配置されている標的面に向けて反射される。前述した本発明の構成によれば、標的面の位置で温度を所定のレベルに維持できる非常にコンパクトで効率のよい装置が得られる。

本発明の他の形態によれば、半導体ウェーハは、集光纖体の長さに沿つて放射源からかなり離れた位置にある所望の地点に配置され、標的面を横切つて、すなわちウェーハの全面にわたつて放射線束がほぼ均一になるようにしている。例えば、エ

ツジ効果をなくし高い効率を達成するといつた大きな利点を有することができる。この場合、ウェーハは出口端に配置されておらず、壁すべてが反射するほど完全に取り囲まれた光学系空所内に配置されている。すなわち、両側の端壁はカレイドスコープの側壁と組み合わせ、完全に囲まれた光学系空所を形成している。この光学系空所は、半導体ウェーハを均一に加熱する重要な役割を果たしている。

集光罐体の直径、すなわち細長い光学系空所の直径は、半導体ウェーハの直径に応じて必要な大きさにすることができる。従つて、例えば4インチ(10.16 cm)の直径を持つウェーハは、4.5インチ(11.43 cm)の内径を持つカレイドスコープ内で処理することができる。他方、6インチ(15.24 cm)の直径を持つウェーハは、好ましくは約7インチ(17.78 cm)の内径を持つカレイドスコープ内で処理することができる。

(実施例)

以下、本発明の実施例について図面を参照して

詳細に説明する。

第1の実施例が、第1図から第3図および第8図に示されている。この実施例は、少なくとも低密度インプラント、すなわち 5×10^{14} イオン/cm²までのインプラント密度を持つ半導体ウェーハ用に適している。第4図と第9図に関連して以下に説明する第2の実施例は、少なくとも現時点において、高密度インプラントすなわち 1×10^{14} イオン/cm²より大きいインプラント密度を持つ半導体ウェーハ用に適している。

第1図から第3図を参照する。カレイドスコープ(Kaleidoscope)形式の集光罐体が参照番号10で示されている。図示した形式では、この集光罐体は4枚の金属壁11から構成されている。これら壁11は(例えば、アルミニウムからできている)、互いに固定されて正方形(第3図)を形作っている。内部に放射源を備えたパイプの端部、すなわち第1図と第2図で見て上端は、(例えばアルミニウムでできた)金属製の端壁12によつて閉じられている。この端壁12は、集光罐

99

体の縦軸に直交した平面内に横たわっている。

壁11と12の内側表面は、使用された放射源から生ずる放射物質に対し高い反射率を備えている。少なくとも以下に詳しく説明する好ましい放射源のために、内側壁の表面には金の非拡散コーティング13が付着されている。このコーティング13は、磨かれた壁の表面に蒸着されたものである。

第1図と第2図に示すように、放射源14は、壁11と12で形成された光学系空所16内に配置され、しかも効率を最大限高めまた小型化するために、壁12に近接して設けられている。連続波(CW)運転用の好ましい放射源は、比較的接近して並べられたランプ17の列またはバンクであり、空所16の端部をほぼ全体的に覆い、すべての方向に光を放射している。好ましい放射源の実施例では、平行なチューブ状ランプの複数の層を備えている。前記ランプは各列ごとにつらされ、上部層から下向きにカレイドスコープに向けて光が最大限届くようになつてゐる。好ましいランプ

100

は、石英ハロゲンランプである。ただし、アルゴン、キセノン、水銀等の他の形式のCWランプも使用できる。ランプは、カレイドスコープの縦方向軸線に直交した平面内に配置されている。

処理される半導体ウェーハは参照番号18で示されている。この半導体ウェーハは、カレイドスコープの縦方向軸線に直交した横断面に配置されている。図示された半導体ウェーハは、カレイドスコープの壁11の下部縁19の真下に位置している。

図示した実施例では、半導体ウェーハ18の横断面は、端壁12から当該ウェーハの直径の2倍以下の距離にわたって離して配置されている。従つて、カレイドスコープの内側寸法が7インチ(17.78センチ)の場合、半導体ウェーハ18は、例えば壁12から12インチ(30.48センチ)離すことができる。このように、横縦比を2対1にすることができる。

比較的小さい横縦比であつても、半導体ウェーハ18の前面にかかる光束は、数パーセントを越

えない範囲、例えば±2パーセントあるいはそれ以下の範囲で均一である。

前述したように、本発明の装置の非常に重要なユニークな特徴は、(実用的で、効率的で、経済的である等の条件を満たして)ウエーハ表面にほぼ均一な放射束強度を作り出せることにある。こうした特徴は、ランプから照射される(可視および赤外域の)放射線の多重反射によつて得られる。放射線はランプからすべての方向に発散している。垂直下向きに発散する放射線は、反射されずにウエーハ表面に直接衝突する。他の放射線は壁10の間を前後に反射し、そしてウエーハ表面に衝突する。残りの放射線は端壁12から反射し、直接または1つもしくは1つ以上の壁11の間を反射した後ウエーハ表面に到達する。

一部の放射線、すなわちランプフィラメントの面に沿つて発散する放射線は、ウエーハに届くことはない。しかし、そうした放射線はフィラメントの加熱を助ける有益なエネルギー保存作用を果たしている。

23

方の壁を省略することもできる。そうした構成をとる場合、バツフル、反射体等が、ウエーハに接触させないで当該ウエーハに比較的接近した状態でこのウエーハの廻りに設置される。このような構造は、ある種の用途においてかなり有効に機能するが、後述する構造のものが特に好ましい。

符号29で示した第2の集光鏡体が、第1のカレイドスコープ10と軸方向に接して取り付けられている。集光鏡体29は、特に好ましくは、カレイドスコープ10と断面寸法および形状が同一で、当該カレイドスコープ10と周囲も軸方向も整合したカレイドスコープである。従つて、第2のカレイドスコープ29は、第1のカレイドスコープ10と一緒になつて長い一体のカレイドスコープを形成するようになつている。このカレイドスコープ29は、中間の領域に半導体ウエーハ18を備えている。カレイドスコープ29は、側壁12にそれぞれ対称的に対応する、側壁31と端壁32を備えている。しかし、端壁32は端壁12よりも半導体ウエーハ18に近接しており非

半導体ウエーハ18は、図示したようにリング21により保持されている。前記リング21は石英から作られており、また半導体ウエーハの直径より実質的に大きい直径を備えている。ウエーハよりも直径を大きくすることで、エッジ効果、すなわちウエーハの縁の温度が当該ウエーハの他の部分の温度と異なるのを阻止している。また、石英でできたハンドル22がリング21に連結され、外部まで通り抜けている。石英でできた湾曲支持エレメント24がリング21に取り付けられ、ウエーハ18の下側から上向きに湾曲して当該ウエーハを点接触支持している。言い換えれば、リング21から延びるエレメント24の端部は、先が尖つていて上向きになつているため、半導体ウエーハと石英との間の接触面を最小限にすることができる。

半導体ウエーハ18の下側に何らかの空所域を置かないようにもできるが、そのようにする代わりに、カレイドスコープの側壁11の下部縁19と同じ面内にウエーハを置き、当該下部縁から下

24

常に満足のいく結果が得られる。前述した実施例ではカレイドスコープの直径が7インチ(17.78センチ)あり、半導体ウエーハ18は上部の端壁12から1.2インチ(30.48センチ)離されている。ウエーハ18から底の端壁32までの距離は、(例えば)約7インチ(約17.78センチ)である。従つて、半導体ウエーハ18から下側の光学系空所領域の横縦比は1である。

半導体ウエーハ18から下側の光学系空所の部分の距離は、前述したように短かくすることができ、光学系空所内にあるすべての反射光が2つの経路、すなわち端壁32に何かうものとの端壁からはね返る2つの経路を形成するからである。端壁32に拡散反射用のコーティングを付着することで、前記距離をさらに短かくすることもできる。

放射源14を発光させた直後であるため、半導体ウエーハ18が比較的冷えている時には、放射エネルギーのほとんどが前述したようにウエーハを通り抜けて伝達される。しかも、エネルギーの多く

は、半導体ウエーハの縁の廻り、特に第3図に示すコーナーの領域を通り抜ける。半導体ウエーハが暖かくなると、この半導体ウエーハは輻射黒体となり、半導体ウエーハ18より下側の光学系空所の部分に向けてエネルギーを下向きに輻射する。半導体ウエーハを通りまたその廻りを通り抜け、またウエーハが暖かくなつた後に当該ウエーハから輻射する多量のエネルギーは、壁31と32のコーティング33によつて反射される。このため、何回かの反射の後、エネルギーは標的面向かつて上向きに進み、半導体ウエーハ18の底面にほぼ均一な状態に衝突するようになる。従つて、半導体ウエーハ18は、図示の実施例では単一の放射源14を使用しているけれども、両側から急速に加熱される。

エッジ効果、すなわちウエーハの縁部分と当該ウエーハの中央部分との間に実質的な温度差が生じないことが、本発明の主な特徴である。加熱はウエーハ全面にわたつてほぼ均一に行なわれる。また、ウエーハと実際に接触する部分が、石英で

27

使用した実施例を示している。一方の放射熱源はCWであり、他方の放射熱源はパルスまたはフラッシュ熱源である。従つて、本発明は製法にも使用できるようになつている。この製法では等温加熱と熱線束加熱作用が、前述したようにまた以下に詳細に説明するように組み合わされている。第4図では、第1図に図示した上部の代わりに、放射源14は底の位置に示されている。放射源14は、第4図で概略的に縦断面にして示されている。第4図の底にある放射源14のランプの配列は、前述した第1図および第2図のものと同一である。

上部集光鏡体は、非常に好ましくは既に述べたようなカレイドスコープである。この上部集光鏡体は参照番号10aで示されており、その壁を11aで、非拡散反射コーティングを13aで、そして端壁を12aで示してある。下部集光鏡体(カレイドスコープ)は、前述した実施例に記載のものと同一であるが逆向きになつている。従つて、同一の参照番号10等を使用する。

カレイドスコープ10aの上端にある放射源は、

できた支持エレメントの尖つた先端であるため汚染されることがない。以下に説明するように、調質空気、また必要に応じて真空状態がウエーハの廻りに施されているため、ウエーハの酸化が防止され、またそれ以外にも好ましい結果が得られる。

底壁32に隣接して、第1の列14の場合と同じように半導体ウエーハ18から同じ距離を置いて、第2のランプ17の列または他の放射熱源14を設置しても同じ効果が得られる。そうした構成では、半導体ウエーハ18は両側から均一に照射を受ける。何れの例においても、1つの放射源から発散する熱線束は、反射コーティングの間で充分な回数にわたつて跳飛し、熱線束を標的面の位置で均一になるようにしている。さらに、ウエーハを通りまたウエーハの周囲を通り抜けるエネルギーは、充分な回数にわたつて跳飛し、反射して標的面に戻つて来るまでには均一になつている。装置の第2の実施例の詳細な説明(第4図と第9図)

第4図と第9図は異なつたタイプの放射熱源を

28

参照番号46で示されている。この放射源はパルスまたはフラッシュ放射源であり、3つのフラッシュチューブ47が図示されている。これらフラッシュチューブ47は、カレイドスコープの軸線に直交する平面内で互いに平行に間隔をあけて配置されている。一例として3つのフラッシュチューブ47の各々は空冷式のリアフラッシュランプであり、50ないし100マイクロ秒当たり700ジュール放熱するようになつている。フラッシュチューブの特性のために、石英ハロゲンCWランプでは金を使用することが好ましいが、このフラッシュチューブの場合にはアルミニウムの非拡散反射コーティング13aが好ましい。

フラッシュチューブ47は、例えばキセノンフラッシュチューブでも良く、ストロブ発光すると高出力を出し瞬間的なフラッシュ光を発する。カレイドスコープ10a内での内部反射のために、パルス源46からのエネルギーによつて広面積のウエーハ18を均一に加熱する。フラッシュチューブ47は互いに同時に発光されるようになつてい

る。

本発明に係る装置の、ある実施例（図示せず）では、フラッシュチューブ47を省略し、複眼集光レンズ（fly-eye integrating lens）をカレイドスコープ10aと同軸的に上部壁12aの中央に取り付けている。ネオジムYAGレーザまたはネオジムガラスレーザがカレイドスコープ10aの上方に配置され、レーザビームは壁12aの複眼集光レンズに向けられている。そして、レーザがパルス発光されると同時に、スキヤニングすることなく、半導体ウエーハ18の上部前面にわたって放射エネルギーが届く。こうしたレーザによるパルス加熱操作は、CW源14からも均一な加熱作用が加えられるため効果的である。

製法の詳細な説明

第1の方法によれば、CW放射源は集光媒体に組み合わせて使用され、所望の効果を得るのに必要な温度まで半導体ウエーハをある時間にわたって急速且つ均一に加熱することができる。加熱速度は、プログラム化した方法により所望の状態に制

御することができる。加熱操作は、明細書の冒頭で示した第6図に示したような等温加熱である。集光媒体は、非常に好ましい形態では既に述べたようなカレイドスコープである。

イオンインプラント半導体ウエーハを急速に焼きなます所望の効果を得ようとする場合、この製法は、CW源に大容量の電力を供給し、次いで急激に電力を減少させてできるだけ速やかに“保留”温度にし、そして電力を充分に低下させるかまたは電力を切つて半導体ウエーハを冷却する工程を備えている。（プログラム化した方法で電力を減少して、冷却工程を完全に制御することができる。光学系空所内における冷却速度は、開放空間に置いた場合よりもはるかにゆっくりとした速度である。）好ましくは、（シリコン用の）温度上昇速度は毎秒当たり200-500℃である。シリコン用の保留温度は、好ましくは1000-1200℃であり、数秒間にわたってこの温度が保持される。約10または15秒の冷却時間が継続して設けられている。代表的な時間と温度の関係が第8

30

図に図示されている。第8図は、左側の比較的急激な温度勾配と、勾配頂上における平らな保留時期と、右側における冷却時期とを示している。この曲線はシリコンに関してのものである。前記シリコンは、概ね1410℃の溶融点を持つている。

既に示したように、前述の第1の製法は、低密度ドウパントインプラント（lower density dopant implants）用としては少なくとも現段階では好ましい。次に、高密度ドウパントインプラント用として現段階では好ましい第2の方法について説明する。

ドウパントインプラント半導体ウエーハを急速に焼きなます第2の方法は、ウエーハの溶融点よりかなり低い所定温度までそうしたウエーハを均一に等温加熱し、その後でウエーハの（ドウパントインプラント処理を加える）上部表面区域を速やかに熱線束加熱し、次いでウエーハを冷却する工程を備えている。熱線束加熱（この用語は、本明細書の冒頭で特定されている）は、半導体材料の溶融点付近で行なうことが望ましいが、第9図

32

の中央領域にある立ち上がり部分で示されているように、シリコンの1410℃の溶融点に対してこれと同じ温度まで到達することはない。

さらに詳しく説明すると、第2の製法は、CW放射源によりドウパントインプラント半導体ウエーハを等温加熱する工程を備えている。前記CW放射源は、好ましくは、集光媒体（カレイドスコープが好ましい）で構成された光学系空所内に配置された石英ハロゲンランプの列である。CWランプに供給される電力は、毎秒当たり200-500℃（またはそれ以上）の温度上昇速度が得られるように制御される。シリコンウエーハが、800-1100℃のプログラム温度に到達すると、次にパルスランプの列へ大電力が供給され、ウエーハのドウパントインプラント表面の温度を1200-1400℃まで急速に高める。従つて、ウエーハの表面域を焼きなまし、欠陥を取り除くことができる。

組み合わせ方式による加熱法により、半導体ウエーハに接触してこれを汚染することなく、急速

に、効率よく、しかも効果的に半導体ウエーハを加熱することができ、例えば予熱板を使用する必要がない。複式石英ハロゲンランプと複式高出力（パルス発光）ランプとを同じ空所内に設置することで、半導体材料を両方のランプにより等温熱線束加熱することができる。

パルスランプ列のパルス発光時間は、5マイクロ秒から1000マイクロ秒にすることができる。半導体材料のドウバントインプラント表面で吸収される熱線束エネルギーは、5マイクロ秒パルス当たり0.5 J/cm²から1000マイクロ秒パルス当たり10 J/cm²までの範囲にできる。

強調したいことは、前述しそして第9図に示した第2の製法において、この等温加熱は、当該等温加熱（パルスなし）を第8図に示すように用いた場合と比べて、低温にできるため好ましい。半導体材料の表面温度を溶融点付近まで急激に上昇できることから、焼きなまし速度を（温度と焼きなまし速度との関係が直線となる場合での焼きなまし速度よりかなり）速められる。その結果、低

35

られることである。ゆつくりした（炉）焼きなましに際して蒸発が起こるため、ガリウムヒ素には大きな問題点が残されている。ガリウムヒ素では、既に述べてきた第2の製法を用いて、ほぼ蒸発の生じない比較的低い温度までウエーハを等温加熱することができる。次いで、パルスランプを用いて熱線束加熱し、（等温加熱と共に）所望の焼きなましを行う。さらに詳しく説明すると、ガリウムヒ素半導体ウエーハは、第2の製法により、当該ウエーハを約500-600℃の範囲の温度まで等温加熱することにより急速に焼きなましされ、次いで、約950-1000℃まで温度を高める。

等温加熱と熱線束加熱とを組み合わせた加熱操作は、溶融が生じるように、すなわち、第9図に示した立ち上がり温度が1410℃（シリコンの場合）より上昇し、そして溶融時潜熱のために平らになるように行いことができる。しかしながら実施する工程が焼きなましである場合、溶融は好ましくない。

本明細書で既に説明してきたカレイドスコープ

い等温加熱温度を利用することができる。

例えば、等温加熱を用いて、ウエーハ全体の温度を約1100℃まで均一に高められる。数秒後、パルス源にエネルギーが加えられて立ち上がり（第9図）を形成し、ウエーハの上部表面域だけをピーク温度まで高めている。しかし、箇々の半導体材料（第9図に示す例ではシリコン）の溶融温度まで上昇することはない。パルスは、少なくともドウバントインプラント層とほぼ同じ深さ（底）までの区域を加熱し焼きなますのに必要な短いものである。パルスの持続時間は、（特に、等温加熱の後）シリコンパネルのスリッパを極力少なくし、さらにウエーハの導体全体を加熱することのほとんどない充分に短いものである。ウエーハ全体を加熱することがないため、ウエーハ全体の温度は、前記実施例で説明した1100℃から数度上昇するにすぎない。熱線束加熱を行うパルスが短かいためである。

強調したいことは、ガリウムヒ素等の他の半導体材料のために、温度および/または時間を変え

36

と他の装置は、CWランプまたは等温加熱体がない場合、パルス源に組み合わせてこれらを使用することもできる。放射エネルギーのパルス（フラッシュ）源は、第6図に説明されているように、熱線束加熱または断熱加熱何れか一方の加熱を行うことができるようになっている。製造速度を速めるために、ウエーハの冷却速度を速める手段を用いることができる。例えば、冷却期間中に、集光鏡体を分割したり、および/またはガスの流況を増やしたりすることもできる。

ランプ装置に関する補足説明、ランプ冷却手段と冷却法並びに出力源と制御エレメントについての説明

第1図と第2図の上部および第4図の下部は、具体的な装置に使用すると都合のよいランプ17の数と形式を図示している。この例では、半導体ウエーハ18は6インチ（15.24センチ）の直径を備え、また光学系空所の内径は概ね7インチ（17.78センチ）の内径がある。27本のランプ17を使用しており、各々のランプ17は、

1.5キロワットの定格消費電力のものである。従つて、ランプ17の総定格消費電力はランプ列当たり40.5キロワットである。

次に、ランプ17に電力を供給したこれらランプを効果的に冷却し、製造に際し長時間にわたつて使用しても光学系空所16が加熱することのない、装置について説明する。

第1図と第2図に示すように、各々のランプ17(石英ハロゲンランプが好ましい)は、光学系空所の外形よりも実質的に長い。このため、ランプの外側端部にある端子48は、そうした光学系空所の壁から離れて間隔をあけられている。端子48は母線49-52に接続されている。これら母線も光学系空所の壁から離して間隔をあけられている。母線の内参照番号49-51で示す3つの母線は、光学系空所の一方の側部に配置され、これら母線の各々は9本のランプ17の端子48に接続されている。参照番号52で示す残りの母線は、光学系空所の反対側に設けられ、27本すべてのランプに接続されている。

39

への電力供給を(随意にまたはプログラム化した手法で)止めることができるようになってい

る。続いて、CWランプの冷却について説明する。ランプのフィラメントは、光学系空所内に収められていることを示摘しておきたい。従つて、例えば、各ランプ17は約6.2インチ(15.75センチ)の長さのフィラメントを備え、全体が光学系空所16内に配置されている。端子48の位置で、ランプから多くの熱が発生する。これら端子48は、既に述べたように、光学系空所の壁から外向きに間隔をあけられている。本発明の冷却装置とこれを用いた方法により、母線の両側に空気を流すことで、端子48と母線49-52を充分に冷却することができる。また、冷却装置とその方法により、光学系空所16内にあるランプ17の部分を充分に冷却して装置の加熱を防ぐことができる。同時に、ランプチューブを冷却しすぎて、ランプチューブにハロゲン蒸気が蒸着しランプの効率が低下することはない。

冷却ハウジング59が、光学系空所の端部の廻

第2図で示した電力供給源53は、三角形またはY形の関係に3つの母線49-51に接続され、また残りの母線52にも接続されている。従つて、そうしたランプには三相電力が供給される。電力供給源53はSCRタイプのものからなり、ランプに供給される電力を可変電圧で調節する形式のものが好ましい。(そうした電力供給源の1つが、ウェスチングハウス社のヴェクトロールディヴィジョン(Vectrol Division)から販売されている。)制御信号は、コンピュータ54(第2図)から電力供給源53に送られる。また、コンピュータ54は光高温計56に接続されている。光高温計56は、傾斜開口57と側壁11を通して半導体ウェーハ18の中央区域に向けられている。エレメント53-55は、第8図と第9図に関連して既に説明したように、CW加熱によつてウェーハの温度を(随意にまたはプログラム化した手法で)速やかに所望の温度レベルまで上昇させることができるようになってい

40

る。で、当該光学系空所と母線49-52から間隔を開けた関係に設けられている。空気または他の適当な冷媒が導管60を通じてハウジング59に供給され、導管61を通じてハウジングから排出される。垂直パツフル62のような適当なパツフル手段が、冷却ハウジング49を入口室63と出口室64とに分別している。冷媒は、予め定められた2つの経路に沿つてでなければこれら室の間を流れることはできない。

第1の経路は大きな断面の径路であり、当該径路は光学系空所の端壁12を通り抜けている。第2の経路は、光学系空所16の端部の内部に大きめの通路66を通じてつながっている。前記通路66は、各々のランプ17ごとに設けられている。通路66は、好ましくは円筒状でありしかもランプと同軸的である。従つて、ランプの壁は光学系空所の11に接触しない。ランプは光学系空所の壁で支持されてはならず、母線49-52によつて支持されている。前記母線は、光学系空所の壁に連結された絶縁ブラケット67で支持されてい

る。

従つて、入口室63から流れてくる空気は、各々のランプ17に添つて且つこれらランプの周囲を通じて光学系空所16の上端に進入する。次いで、空気は光学系空所16の上部を流れて、そして窓64内に流出し、導管61を通じて流出する。光学系空所の端部は石英窓68(第4図では68a)により、半導体ウェーハ18に接した空所部分から仕切られている。従つて、空気が半導体ウェーハ18に届くことはなく、また調質空気を後述するように半導体ウェーハ18の両側に供給することもできる。

冷却手段、母線と端子の手段、および窓68を組み合せることにより、効果的で効率的な冷却作用が得られる。このため、壁11と12が過熱することなく、冷却ハウジング59の底の領域を窓68よりも半導体ウェーハ18に近接して設けられている。従つて、光学系空所の端部から壁11を通じた熱の伝導により、半導体ウェーハ18に近接した空所領域を加熱してしまうことは

43

適当な支持手段70により、静止状態に保持されている。前記ハウジングは、第5図において想像線71により示されている。フラッシュランプとカレイドスコープ10aのための冷却空気は、ハウジング71につながった導管72と73(第5図)を通じて供給されまた排出される。

下部カレイドスコープ10(第4図と第5図)は、静止状態に保持されておらず、図示した閉鎖位置と開放位置(下向きに降下した位置)の間を上下に動かされる。前記開放位置に下部カレイドスコープがある場合、半導体ウェーハ18を載せた石英リング21は水平面内で回転されて、光学系空所16に出入りすることができる。第5図を参照すると、カレイドスコープ10とこれに付属した冷却装置とを昇降するために、流体作動シリンダ74とこれに付属したガイド75とが設けられている。冷却装置につながり、またハウジング71から外部に突き出た導管60と61は、適当な可撓性のある材料から作られ前述した垂直方向に変形することができる。

44

ない。カレイドスコープの内面の反射特性のため、第8図に示した時間にわたつて半導体ウェーハを例えば1200℃まで加熱しても、装置10の外面はほぼ150°F(65.6℃)以下まで僅かに加熱されるにすぎない。

第4図の上部に示したフラッシュランプ47の冷却手段は、CWランプ17の冷却手段とほぼ同じである。従つて、詳細には説明しない。また、フラッシュランプ47用の電力供給源は、従来技術で周知の様々な形成のものを使用することができる。従つて、ここでは説明を省略する。

自動機械の説明

第5図に外略的に示した装置は、第4図と第9図の実施例についてのものである。ただし、この装置は第1図から第3図および第8図の実施例にも利用することができる。後者の例では、フラッシュランプとこれに付属した冷却手段は省略されている。

参照番号10a(第4図と第5図)で示した上部カレイドスコープは、ハウジングに連結された

44

3つの支持リング21が、アクチュエータ78で駆動される回転支持装置77により、水平面内に取り付けられている。ハウジング71内の一方向のステーションに2つの装着カセット79が設けられ、またハウジング71内の別のステーション内に2つの取り外しカセット80が設けられている。図示はしていないが、適当なピックアップ機構と装着機構とが設けられ、それぞれ装着カセットと取り外しカセット79と80に半導体ウェーハ18を送り込んだり取り出したりするようになっている。2つのカセット79と2つのカセット80を接搬することにより、連続した大量生産を行うことができる。カセットは、“エアロック”(airlocks)を通じてハウジング71内に導入したりまたハウジングから取り出される。所望の空気がハウジング71内に、従つて光学系空所16内に充填されている。この空気は、アルゴン、窒素、ヘリウム等にもできる。ガスは、導管82を通じて適当な供給源81から供給される。第2図から第4図に示した導管83と84を通じて

45

て、ガス供給源81を光学系空所に直接接続することもできる。そうした導管を通るガスの流れにより、冷却速度を速める効果がある。

従つて、連続した生産ラインの操作は、まずアクチュエータ74に信号を送つて下部カレイドスコープ10を下げ、次いでアクチュエータ78に信号を送つて装置77を120回転させることにより行なわれる。その結果、処理の終わつてないウエーハ18は上部と下部のカレイドスコープの間の空間に送り込まれる。次に、アクチュエータ74に信号を送つてカレイドスコープ10を持ち上げ、上部と下部のカレイドスコープ10aと10の相対する縁を互いに合わせ、ウエーハ18を第4図に示すように設置する閉じられた光学系空所を形成している。

次いで、前述したように放射熱源17と46を操作して、等温加熱と熱線束加熱とによるウエーハ18の焼きなましを行なう。その後、アクチュエータ74を操作して下部カレイドスコープ10を下げ、そしてアクチュエータ78に信号を送つ

て装置77を回転する。次いで処理済みのウエーハ18を取り外しカセット80に接した取り外しステーションに送り、図示されていないピックアップ機械により取り除かれる。ウエーハは、損傷を生じないように十分に冷却されるまで、光学系空所から外に取り出されない。

支持リング21の石英ハンドル22は(第1図の溝23に相等する)、下部カレイドスコープ10(第4図)の壁11の上縁にある溝を通り抜けている。このハンドルは、装置77のアームの一方に連結されている。

石英窓68と68aで分割されたウエーハ18の周囲の領域が、カレイドスコープの端部を形成していることを強調しておく。加熱が生じた際、ウエーハ18の廻りの不活性雰囲気はほとんど移動しない。この状況は、輻射された熱の経路すべてが伝導または対流によつて失われず、様々な径のウエーハの全面を最大限均一な温度にするため、望ましい。他方、既に述べたように、冷却期間中に不活性ガスを流すことで、冷却速度を速めるこ

(37)

ともできる。ハウジング59等の冷却手段は、第2のカレイドスコープ29(第1図と第2図の下部)の廻りにも設けるのが好ましい。

前述した詳細な説明は、実例としてあげた実施例から充分に理解されるが、本発明の精神と範囲はこれらのものにのみ限定はされない。

4. (図面の簡単な説明)

第1図は、壁の一部を取り除いた合体カレイドスコープの斜視図である。

第2図は、第1図の2-2線に沿つた縦断面図である。

第3図は、第2図の3-3線に沿つた横断面図である。

第4図は、本発明の装置の第2の実施例を示す縦断面図にして、第2図(第1図の実施例を示す)に直交して断面にしてある。従つて、第4図のランプは断面で示されており、側面図ではない。

第5図は、生産ラインにおいて半導体ウエーハの急速加熱を行う自動化システムの外略図である。

第6図は、等温加熱、熱線束加熱および断熱加

(38)

熱における温度と処理深さの関係を示すグラフである。

第7図は、インプラント処理された場合と異つた形式の焼き入れの後の両方の場合における、種々の深さの典型的インプラント密度を示すグラフである。

第8図は、第1の実施例における温度と時間の関係を示すグラフである。

第9図は第8図に対応しているが、本発明の第2の実施例における温度と時間の関係を示している。

10…集光鏡体 10a…上部集光鏡体
11, 11a…側壁 12, 12a…端壁
13, 13a…コーティング 14…放射源
16…光学系空所 17…ランプ
18…半導体ウエーハ 19…下部縁
21…リング 22…ハンドル
24…湾曲支持エレメント 29…第2の集光鏡体
31…側壁 32…端壁 33…コーティング
46…放射源 47…フラッシュチューブ

48…端子 49-52…母線
 53…電力供給源 56…光高温計
 57…傾斜開口 59…冷却ハウジング
 60, 61…導管 62…パツフル
 63…入口室 64…出口室 68…石英窓

代理人 弁理士 湯 浅 恭



(外5名)

51)





